

AY

10/829,306

SUPERLATTICE STRUCTURE, STRUCTURE FOR CONFINING HOLES OR ELECTRONS USING IT AND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT

Publication number: JP4273491

Publication date: 1992-09-29

Inventor: IGA KENICHI; KOYAMA FUMIO; TAKAGI TAKESHI

Applicant: IGA KENICHI; KOYAMA FUMIO; OMRON TATEISI ELECTRONICS CO

Classification:

- international: H01L21/20; H01L33/00; H01S5/00; H01S5/343; H01S5/20; H01L21/02; H01L33/00; H01S5/00; (IPC1-7): H01L21/20; H01S3/18

- European: H01L33/00C3D; H01S5/343E; Y01N10/00

Application number: JP19910055442 19910228

Priority number(s): JP19910055442 19910228

Also published as:



EP0502442 (A)

EP0502442 (A)

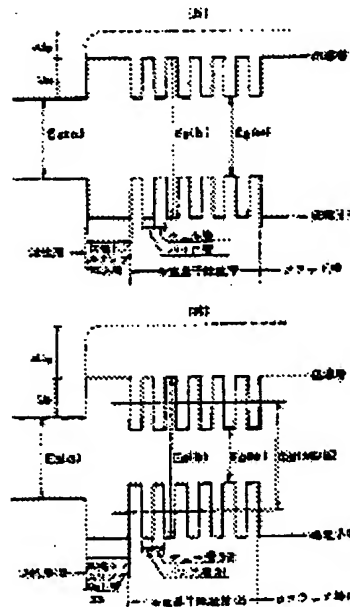
EP0502442 (B)

Report a data error here

Abstract of JP4273491

PURPOSE: To hold a potential barrier high which can be virtually raised by a multiple quantum barrier layer even if energy gap of an active layer is set large.

CONSTITUTION: Energy gap of a super lattice well layer 32 which constitutes a multiple quantum barrier layer 13 is smaller than that of an active layer 12, and quantized energy gap of the multiple quantum barrier layer 13 is larger than that of the active layer 12.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

AY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-273491

(43) 公開日 平成4年(1992)9月29日

(51) Int. Cl. ³	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/18		9170-4M		
H 0 1 L 21/20		9171-4M		

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平3-55442
(22) 出願日 平成3年(1991)2月28日

(71) 出願人 591055399
伊賀 健一
東京都町田市つくし野2-33-10
(71) 出願人 591055403
小山 二三夫
東京都日野市栄町2-11-12
(71) 出願人 000002945
オムロン株式会社
京都府京都市右京区花園土堂町10番地
(72) 発明者 伊賀 健一
東京都町田市つくし野2-33-10
(74) 代理人 弁理士 牛久 健司

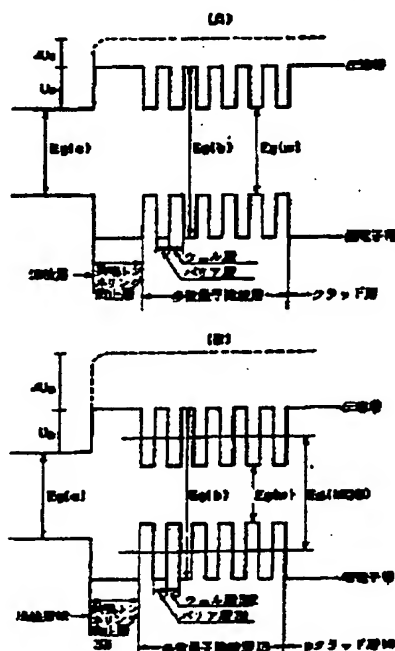
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超格子構造体、それを用いた電子またはホールの閉じ込め構造および半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 活性層のエネルギー・ギャップを大きく設定しても多重量子障壁層により仮想的に高められるポテンシャル障壁を高く保つ。

【構成】 多重量子障壁層13を構成する超格子ウエル層32のエネルギー・ギャップを活性層12のそれよりも小さくし、かつ多重量子障壁層13の量子化されたエネルギー・ギャップを活性層12のそれよりも大きくする。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層とその両側に設けられたクラッド層とを含む半導体発光素子において、少なくとも一方のクラッド層の少なくとも一部に活性層に接して多重量子障壁層が設けられ、この多重量子障壁層は超格子バリア層と超格子ウエル層とが交互に複数層積層して構成され、ウエル層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつ多重量子障壁層の量子化されたエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きく設定されていることを特徴とする、半導体発光素子。

【請求項2】 多重量子障壁層のバリア層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きい請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】 活性層と多重量子障壁層との間に共鳴トンネリング防止層が設けられている請求項1または2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 活性層とその少なくとも一方側に設けられたクラッド層とから構成され、クラッド層の少なくとも一部に活性層に接して多重量子障壁層が設けられ、この多重量子障壁層は超格子バリア層と超格子ウエル層とが交互に複数層積層して構成され、ウエル層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつ多重量子障壁層の量子化されたエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きく設定されている、電子またはホールの閉じ込め構造。

【請求項5】 多重量子障壁層のバリア層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きい請求項4に記載の電子またはホールの閉じ込め構造。

【請求項6】 活性層と多重量子障壁層との間に共鳴トンネリング防止層が設けられている請求項4または5に記載の電子またはホールの閉じ込め構造。

【請求項7】 エネルギー・ギャップの異なる2種類以上の結晶が交互に組合わされることにより構成され、エネルギー・ギャップの小さい方の結晶のエネルギー・ギャップが、電子またはホールの入射側に位置する材料のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつこれら結晶の厚さが、入射電子またはホールの反射波に対してその位相を強め合うように構成されている超格子構造体。

【請求項8】 超格子構造体の量子化されたエネルギー・ギャップが、電子またはホールの入射側の材料のエネルギー・ギャップよりも大きい請求項7に記載の超格子構造体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、超格子構造体、それを用いた電子またはホールの閉じ込め構造およびそれを用いた半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザ、発光ダイオード等の半導

2

体発光デバイスにおいては、発光に寄与する注入電子またはホールを活性領域に効率よく閉じ込めるために、ダブルヘテロ構造がよく用いられている。注入されたキャリアは、活性層とクラッド層とのヘテロ接合におけるポテンシャル障壁によって閉じ込められる。

【0003】このポテンシャル障壁の高さは、活性層とクラッド層をそれぞれ構成する半導体材料の物理定数によりほぼ決定され、クラッド層のエネルギー・ギャップと活性層のエネルギー・ギャップとの差にほぼ応じた値となる。したがって、発光波長の短波長化を図るために活性層のエネルギー・ギャップを大きくしていくと、このポテンシャル障壁を大きくとることができず、十分なキャリアの閉じ込めが行えないという問題点があった。

【0004】このような問題点を解決するために、電子の波動性を利用した多重量子障壁 (Multi-Quantum Barrier : MQB) (特開昭63-46788号公報参照) が提案されている。これは、多重量子障壁の各ヘテロ界面で反射される電子波が干渉して強め合うように、多重量子障壁を構成する各層厚を設計することにより、活性層からクラッド層へ漏れ出していく電子に対する反射率を高め、これによってポテンシャル障壁を仮想的に高め、キャリアを十分に活性層内に閉じ込めようとするものである。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、活性層のエネルギー・ギャップをさらに大きくしていくと、この多重量子障壁を用いても仮想的なポテンシャル障壁を大きくとることができなくなってくる。

【0006】多重量子障壁による仮想的なポテンシャル障壁の高さは、多重量子障壁を構成する超格子ウエル層と超格子バリア層との間のポテンシャルの差 (伝導帯の下縁に現われる不連続エネルギー・バンドにおける差；後述する図2(A)に示す U_0) に強く依存し、その差が大きければ大きいほど仮想的なポテンシャル障壁が大きくなる。上述した従来の多重量子障壁構造では、そのウエル層と活性層の半導体材料として同じものが使用され、これらにおけるエネルギー・ギャップが等しく設定されていたので、活性層のエネルギー・ギャップを大きくしていくと、ウエル層のエネルギー・ギャップも大きくなり、仮想的なポテンシャル障壁をつくる多重量子障壁におけるウエル層とバリア層との間のポテンシャルの差が小さくなるからである。

【0007】この発明は活性層のエネルギー・ギャップを大きく設定しても多重量子障壁により仮想的に高められるポテンシャル障壁を高く保つことができるようにすることを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明は、活性層とその両側に設けられたクラッド層とを含む半導体発光素子において、少なくとも一方のクラッド層の少なくとも一

3

部に活性層に接して多重量子障壁層が設けられ、この多重量子障壁層は超格子バリア層と超格子ウエル層とが交互に複数層積層して構成され、ウエル層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつ多重量子障壁層の量子化されたエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きく設定されていることを特徴とする。

【0009】また、この発明による電子またはホール閉じ込め構造は、活性層とその少なくとも一方側に設けられたクラッド層とから構成され、クラッド層の少なくとも一部に活性層に接して多重量子障壁層が設けられ、この多重量子障壁層は超格子バリア層と超格子ウエル層とが交互に複数層積層して構成され、ウエル層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつ多重量子障壁層の量子化されたエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きく設定されているものである。

【0010】上記において、多重量子障壁層のバリア層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きいことが好ましい。

【0011】また、活性層と多重量子障壁層との間に共鳴トンネリング防止層を設けることが好ましい。

【0012】この発明による超格子構造体は、エネルギー・ギャップの異なる2種類以上の結晶が交互に組合わされることにより構成され、エネルギー・ギャップの小さい方の結晶のエネルギー・ギャップが、電子またはホールの入射側に位置する材料のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつこれら結晶の厚さが、入射電子またはホールの反射波に対してその位相を強め合うように構成されているものである。

【0013】入射電子またはホールの反射波に対してその位相を強め合うようにするための構造においては、超格子構造体の量子化されたエネルギー・ギャップが、電子またはホール入射側の材料のエネルギー・ギャップよりも大きくなっている。

【0014】

【作用】多重量子障壁層のウエル層と活性層とに異なる半導体材料が用いられ、多重量子障壁層のウエル層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも小さく設定されているので、多重量子障壁層のウエル層とバリア層との間のエネルギー・ギャップ差が大きくとれるようになる。したがって、多重量子障壁層により高められる仮想的なポテンシャル障壁の高さが大きくなる。また、多重量子障壁層における量子化されたエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップより大きくなるように多重量子障壁層を構成するウエル層とバリア層の組成および積層が選択されているので、活性層で発生した光が多重量子障壁層で吸収されないようになる。

【0015】

【発明の効果】以上のようにして、従来の多重量子障壁

4

層では、十分なポテンシャル障壁の高さが形成できないようなエネルギー・ギャップの大きい活性層をもつ素子に対しても、吸収による効率の低下を招くことなく十分に高いポテンシャル障壁を形成することができ、キャリアを活性層に十分に閉じ込めることができるようになる。

【0016】

【実施例】この発明をAlGaInP可視光半導体レーザに適用した実施例について述べる。

【0017】図1はAlGaInP半導体レーザの構成を示すものである。

【0018】n-GaAs基板10上に、n-AlGaInPクラッド層11、AlGaInP活性層12、p-AlGaInPクラッド層14およびp-GaAsキャップ層15が順次形成されている。そして、電子に対する閉じ込めを強くするためにp-クラッド層14の一部として活性層12に接する位置に多重量子障壁（以下単にMQBという）層13が設けられている。このような構造の半導体レーザはたとえばMBE法により作製することができる。

【0019】図2はMQB層付近のポテンシャル・プロファイルを示すものである。図2(A)は上述した特開昭63-46788号公報に記載のMQB（以下単に従来のMQBという）層について比較のために示すものであり、図2(B)はこの発明の実施例におけるMQB（以下単に本発明のMQBという）層について示すものである。

【0020】図2(A)において、活性層のエネルギー・ギャップが $E_g(a)$ で、MQB層を構成する超格子バリア層のエネルギー・ギャップが $E_g(b)$ で、MQB層を構成する超格子ウエル層のエネルギー・ギャップが $E_g(w)$ でそれぞれ示されている。また、 U_0 はMQB層を構成するバリア層とウエル層との間の伝導帯の下縁におけるポテンシャル差（または活性層とMQB層のバリア層との間の伝導帯の下縁におけるポテンシャル差）である。MQB層による仮想的なポテンシャル障壁が破線で示されている。 ΔU_e がMQBの存在により生じたポテンシャル障壁の高さの増加分であり、これはポテンシャル差 U_0 の増加にともない指数関数的に増大する（図4参照）。

【0021】従来のMQB層を含む半導体発光素子では、上述したように、活性層の半導体材料とMQB層を構成するバリア層およびウエル層の半導体材料との関係について特別な配慮が行なわれず、その結果、活性層とウエル層とに同じ半導体材料が用いられ、常に $E_g(a) = E_g(w)$ であった。このため、活性層のエネルギー・ギャップ $E_g(a)$ を大きくすると、 $E_g(b)$ と $E_g(w)$ との差が小さくなる。この結果、ポテンシャル差 U_0 が小さくなり、これにともなってポテンシャル障壁の高さの増加分 ΔU_e も指数関数的に小さくなるという問題があった。

【0022】この発明は、MQB層を含む半導体発光素子において、活性層の半導体材料と、MQB層を構成す

5

る超格子バリア層および超格子ウエル層の半導体材料との間に、それらのエネルギー・ギャップが一定の関係を保つように、制限を設けている。以下にこの一定の関係について詳述する。

【0023】図2(B)において、MQB層13は複数の超格子バリア層31と超格子ウエル層32とが交互に積層されて構成されている。これらのバリア層31とウエル層32の厚さは、たとえば5〜50オングストローム程度で（詳しくは後述する）、合計で10層程度あれば充分である。また、活性層12とMQB層13の間には、100〜200オングストローム程度の厚さをもつ共鳴トンネリング防止層33が設けられ、活性層12の電子がトンネル効果で漏れるのを防止している。共鳴トンネリング防止層33、超格子バリア層31およびp-クラッド層14は同じ組成の半導体材料で構成することもできるし、もちろん組成を異ならせてもよい。

【0024】この発明では、MQB層13における超格子ウエル層32と超格子バリア層31との間のエネルギー・ギャップ差を大きくとり、MQBにより仮想的に高められるポテンシャル障壁の高さを高くするために、MQB層13のウエル層32の材料に活性層12のエネルギー・ギャップよりもエネルギー・ギャップの小さい材料を用いている。

【0025】すなわち、活性層12のエネルギー・ギャップを $E_g(a)$ 、MQB層13の超格子ウエル層32のエネルギー・ギャップを $E_g(w)$ 、MQB層13の超格子バリア層31のエネルギー・ギャップを $E_g(b)$ とすると、次式を満足するようにこれらの各層の材料が選択される。

【0026】

【数1】 $E_g(w) < E_g(a) < E_g(b)$ ……式1

【0027】たとえば、活性層12の組成を $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ とし、MQB層13のウエル層32の組成を $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 、バリア層31の組成を $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ とした場合には、 $xw < xa < xb$ という関係が成立するような組成が選ばれる。

【0028】このようなエネルギー単位関係においては、活性層12で発生した光がMQB層13で吸収されないよう、MQB層13におけるウエル層32およびバリア層31の組成および膜厚が定められる。

【0029】MQB層13における量子化されたエネルギー・ギャップを $E_g(MQB)$ とすると、活性層12で発生した光をMQB層12が吸収しないための条件は次式で与えられる。

【0030】

【数2】 $E_g(MQB) > E_g(a)$ ……式2

【0031】MQB層13における量子化されたエネルギー・ギャップ $E_g(MQB)$ は、MQB層13を構成するウエル層32とバリア層31との材料および層厚（幅）によって定められる。

【0032】図3は単一量子井戸構造における量子化さ

6

れたエネルギー・ギャップが、ウエル層の厚さと組成によってどのように変化するかを示すグラフである。ここで、ウエル層の組成が $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 、その両側のバリア層は無限の幅をもちかつ組成が $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ である単一量子井戸モデルが用いられている。横軸がウエル層の幅、縦軸が量子化されたエネルギー・ギャップをそれぞれ表わしている。Al組成比 xw をパラメータとして、 $xw=0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ および 0.5 の6種類の曲線が計算により求められている。 $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ の組成をもつ活性層のエネルギー・ギャップも、 $xa=0.2, 0.3, 0.4$ および 0.5 について示されている。このグラフから、式2を満たすウエル層の幅を知ることができよう。

【0033】このように吸収をおこさない組成および幅をもつMQB層について下記に示す文献に示されているものと同じ手法を用いて電子波反射率を計算し、その反射率が99%以上となる仮想的なポテンシャル障壁高さの増加分 ΔU_e を求めた結果が図4に示されている。

【0034】I. Takagi, F. Koyama, and K. Iga.: "Potential Barrier Height Analysis of AlGaInP Multi-Quantum Barrier (MQB)", Jpn. J. Appl. Phys., 29, L1977(1990).

【0035】図4には従来のMQBと本発明によるMQBとにおける比較が示されている。横軸は上述したポテンシャル差 U_0 および活性層のAl組成比 xa であり、縦軸は仮想的なポテンシャル障壁高さの増加分 ΔU_e である。従来のMQBでは $xw=xa$ に設定されている。また、本発明のMQBでは $xw=0$ に設定されている。バリアにおけるAl組成比は $xb=0.7$ である。活性層、ウエル層およびバリア層の組成はそれぞれ $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 、 $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ 、 $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{0.5}In_{0.5}P$ である。

【0036】従来のMQBにおいては、増加分 ΔU_e はポテンシャル差 U_0 に強く依存し、ポテンシャル差 U_0 の増加にともない増加分 ΔU_e は指数関数的に増加する。したがって、上述したように、活性層のエネルギー・ギャップが大きくなってポテンシャル差 U_0 が小さくなると増加分 ΔU_e を大きくとれなくなる。

【0037】これに対して、本発明のMQBにおいては、ポテンシャル差 U_0 が小さい場合においても300 meV程度のポテンシャル障壁の高さの増加分 ΔU_e を得ることができる。

【0038】図5は、MQBにおけるホールのフェルミ・レベルを考慮した場合の活性層中の電子が感じるポテンシャル障壁の高さ U_a について xa, xw を変えたときのそれぞれの最大値を示すものである。この電子が感じるポテンシャル障壁の高さ U_a は次式で与えられる。

【0039】

【数3】

7

$$U_a = \Delta E_g + \Delta U_e - (E_{fp} - E_v) \cdots \text{式 3}$$

【0040】ここで

$$\Delta E_g = E_g(c) - E_g(a) \cdots \text{式 4}$$

【0041】 $E_g(c)$ は p-クラッド層のエネルギー・ギャップ、 E_{fp} は MQB 層におけるホールのフェルミ・レベル、 E_v は p-クラッド層における価電子帯の上縁のエネルギー・レベルである。

【0042】このグラフ作成のための計算において、p-クラッド層のキャリア濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $x_b = 0.7$ と設定されている。

【0043】活性層の Al 組成比 x_a を大きくし活性層のエネルギー・ギャップを大きくしていくとポテンシャル障壁の高さ U_a は小さくなっていく。これは、 ΔE_g そのものが小さくなっていくことと、吸収をおこさないウエルとバリアの組合わせが制限されてくることによる。活性層の Al 組成比が同じ場合には、 x_w の小さい MQB を用いた方が大きな U_a が得られる。 $x_a = 0.4$ (波長 λ は約 600 nm) としたときには、 $x_w = 0$ の MQB (ウエル 11.3 オングストローム、バリア 11.3 オングストローム)、 $x_w = 0.1$ の MQB (ウエル 14.2 オングストローム、バリア 11.3 オングストローム) において、200 meV 以上の U_a が得られる。この値は、600 nm 帯の AlGaInP レーザにおいても安定な CW (連続発振) 動作が可能であることを示唆している。

【0044】上記実施例においては、活性層の電子閉じ込めのために p-クラッド層に MQB 層を導入してある。活性層におけるホールの閉じ込め効果を増すために n-クラッド層に MQB 層を導入することもできるのはいうまでもない。この場合には、価電子帯におけるバンド不連続性に基づくポテンシャル差 ΔE_v およびホールの有効質量を考慮して上述の場合と同じように MQB 層

8

を構成し、n-クラッド層の一部として活性層に接する位置にこの MQB 層を導入すればよい。

【0045】この発明は上述の実施例だけに限定されるものではなく種々の変形が可能である。たとえば Ga、Al、As や GaAlAsSb 等の種々の混晶材料も用いることができる。また、上述した実施例では MQB として 2 層構造体が用いられているが、3 種以上の結晶を交互に組合わせた超格子構造体も利用することができる。

10 【図面の簡単な説明】

【図 1】この発明の実施例による AlGaInP 半導体レーザの構成を示す。

【図 2】多重量子障壁層の付近のポテンシャル・プロファイルを示すもので、(A) は従来例、(B) はこの発明によるものである。

【図 3】ウエルの幅と量子化されたエネルギー・ギャップとの関係を示すグラフである。

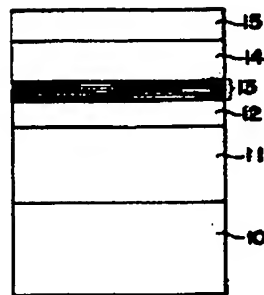
【図 4】ポテンシャル差とポテンシャル障壁の高さの増加分との関係を示すグラフである。

20 【図 5】活性層の Al 組成比と電子が感じるポテンシャル障壁の高さとの関係を示すグラフである。

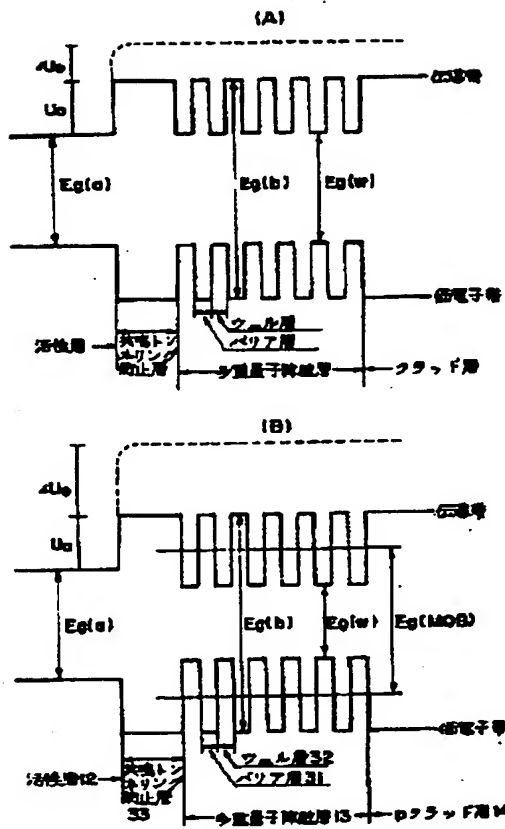
【符号の説明】

- 10 n-GaAs 基板
- 11 n-AlGaInP クラッド層
- 12 AlGaInP 活性層
- 13 p-多重量子障壁層
- 14 p-AlGaInP クラッド層
- 15 p-GaAs キャップ層
- 31 超格子バリア層
- 30 32 超格子ウエル層
- 33 共振トンネリング防止層

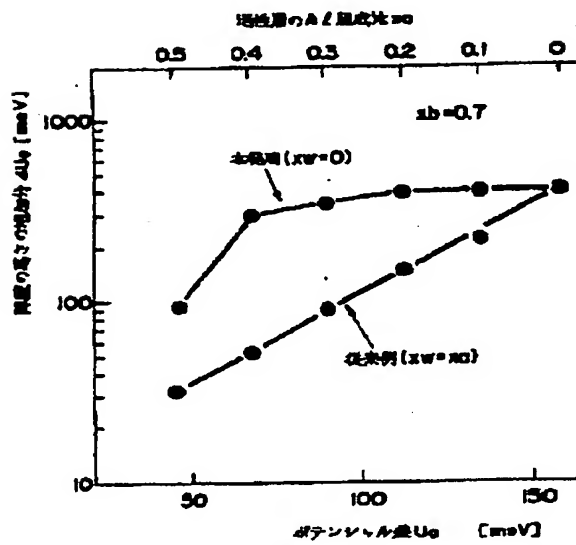
【図 1】



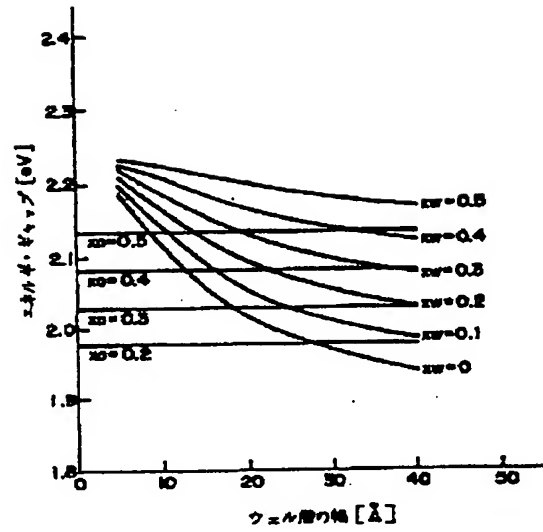
【図2】



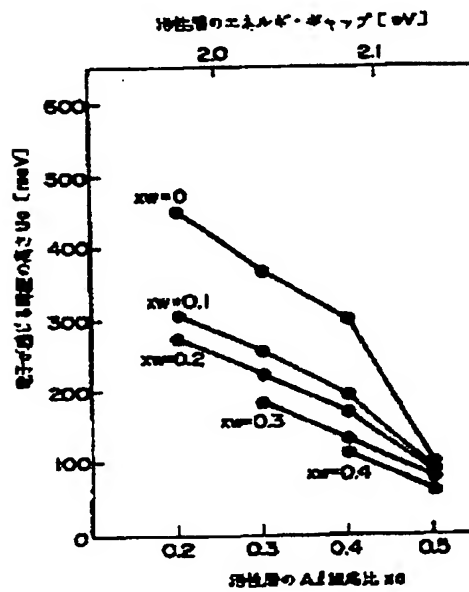
【図4】



【図3】



【図5】



(7)

特開平4-273491

フロントページの続き

(72)発明者 小山 二三夫
東京都日野市栄町2-11-12

(72)発明者 高木 剛
京都市右京区花園土堂町10番地 オムロン
株式会社内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成11年(1999)6月18日

【公開番号】特開平4-273491

【公開日】平成4年(1992)9月29日

【年通号数】公開特許公報4-2735

【出願番号】特願平3-55442

【国際特許分類第6版】

H01S 3/18

H01L 21/20

【FI】

H01S 3/18

H01L 21/20

【手続補正書】

【提出日】平成10年2月19日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層とその両側に設けられたクラッド層を含む半導体発光素子において、少なくとも一方のクラッド層の少なくとも一部に活性層に接して多重量子障壁層が設けられ、この多重量子障壁層は超格子バリア層と超格子ウエル層とが交互に複数層積層して構成され、ウエル層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつ多重量子障壁層の量子化されたエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きく設定されていることを特徴とする、半導体発光素子。

【請求項2】 活性層とその少なくとも一方側に設けられたクラッド層とから構成され、クラッド層の少なくとも一部に活性層に接して多重量子障壁層が設けられ、この多重量子障壁層は超格子バリア層と超格子ウエル層とが交互に複数層積層して構成され、ウエル層のエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつ多重量子障壁層の量子化されたエネルギー・ギャップが活性層のエネルギー・ギャップよりも大きく設定されている、電子またはホール閉じ込め構造。

【請求項3】 エネルギー・ギャップの異なる2種類以上の結晶が交互に組合わされることにより構成され、エネルギー・ギャップの小さい方の結晶のエネルギー・ギャップが、電子またはホールの入射側に位置する材料のエネルギー・ギャップよりも小さく、かつこれら結晶の厚さが、入射電子またはホールの反射波に対してその位相を強め合うように構成されている超格子構造体。